

南水北调东线工程对东平湖水环境的影响

胡尊芳

(山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013)

摘要:为考察南水北调东线工程对东平湖水环境的影响,为受水区域的用水安全提供保障,于东线工程通水前后分别采集不同水文时期的东平湖湖水样品,分析测定后,采用综合污染指数法、综合营养状态指数法、健康风险评价模型,评价东线工程通水前后东平湖湖水水质级别、营养化水平和健康风险水平的差异。结果表明:东线工程通水后,东平湖湖水综合污染指数由通水前的0.49变为通水后的0.58,水质级别仍为Ⅲ级轻度污染,部分指标超标但不严重;综合营养状态指数由通水前的50.72降为通水后的47.90,表明营养化水平由轻度富营养状态好转为中营养水平;健康风险由通水前的 $2.91 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$ 降为通水后的 $9.35 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$,即由通水前的中—高风险水平降低为通水后的中风险水平。结论可知,南水北调东线工程的通水有利于东平湖水环境的改善,但与其他典型淡水湖泊相比,东平湖湖水的健康风险仍相对偏高,后续需要进一步加强湖区环境保护和污染排放的管控。

关键词:南水北调;东平湖;水质;营养化;健康风险;山东

中图分类号:X824

文献标识码:B

引文格式:胡尊芳.南水北调东线工程对东平湖水环境的影响[J].山东国土资源,2017,33(10):46-51. HU Zunfang. Effect of East Route of South to North Water Transfer Project on Dongping Lake Water Environment[J]. Shandong Land and Resources, 2017,33(10):46-51.

南水北调工程是国家的战略性工程,旨在把长江丰富的水资源,通过东、中、西3条线路输送到缺水区域。东线工程途经山东,能够有效缓解山东及天津的水资源短缺问题。东平湖是东线输水线路上的最后一级调蓄水库,位置和地位非常重要,其水环境质量直接关系到下游受水区域的用水安全,目前调研主要是考察南水北调东线工程通水前东平湖的环境质量状态,如对东平湖23年来氮磷的污染调查^[1],对东平湖生态地质环境生态脆弱性进行调查评价^[2],对东平湖的水环境健康风险的评价等^[3-4],但有关南水北调东线工程通水后东平湖水环境的调查评价相对较少,对于通水前后东平湖水环境的对比研究更少,因此,有必要对东线工程通水前后东平湖的水环境质量进行全面分析评价,考察南水北调东线工程对东平湖水环境的影响,并为下游受水区域的用水安全提供数据支持。

1 自然地理

1.1 气象条件

工作区内气候属于暖温带大陆性半湿润季风气候,春季干燥少雨多风,夏季高温高湿,炎热多雨,间有伏旱、暴雨出现,秋季天高气爽,常有秋旱发生,冬季寒冷少雪,具有四季分明,雨热同季的特点。

多年平均气温为 13.6°C (2003—2012年),年平均气温最低值(12.89°C)出现在1993年,最高值(14.37°C)出现在2006年,最高气温与最低气温相差 1.48°C ;无霜期200d,年日照时数2401.1h。全年最多风向为东南,频率为12%,年平均风速 2.8 m/s 。多年平均降水量为663.31mm(1990—2012年),年降水量最大值出现在1991年,为944.68mm;最小值出现在1999年,为472.28mm;多年平均蒸发量为1650.5mm,历年最大冻土深度0.34m,常年结冰日期102d,最多118d,最少82d。

1.2 地形地貌

工作区地形起伏较大,总体地势北高南低、东高

收稿日期:2017-02-20;修订日期:2017-03-17;编辑:陶卫卫

基金项目:山东省地矿局地质科技攻关项目(KY201516)和山东省物化探勘查院科研基金(鲁物科基字[2015]1号)

作者简介:胡尊芳(1986—),女,山东临沭人,工程师,主要从事水工环地质与土壤微生物多样性研究;E-mail:shiwaxianshu@126.com

西低,最高山峰为水牛山,海拔为 408 m,最低点为东平湖水库,水面标高为 40.75 m,相对高差约 360 m。工作区地处鲁中山区西部丘陵区与鲁西平原区的交接地,是黄河与汶河洪积平原相交的条状洼地,区内低山、丘陵、平原与湖泊交错,地貌类型复杂,湖区以东地貌类型为构造剥蚀低山丘陵区,西北侧为剥蚀堆积孤山残丘区,东南部为山前冲洪积平原区,南部则为冲积与湖积平原区。

1.3 水文条件

东平湖是山东省第二大淡水湖,东平湖西近京杭大运河,东连大清河,北通黄河。湖区总面积约 627 km²,总库容 39.8 亿 m³。由二级湖堤分隔成新、老湖区两部分,其中老湖区(一级湖)209 km²,库容 11.9 亿 m³,常年蓄水,多年平均水面面积约 124 km²,水深一般为 1~3 m,最深处 5~6 m,平均水深 2.5 m,湖面多年平均水位 40.75 m,相应蓄水量 1.3 亿 m³,最高水位达 44.41 m,出现在 2001 年,最低水位为 40.40 m,出现在 1992 年。新湖区(二级湖)为黄河滞洪区,面积 418 km²,库容 27.9 亿 m³,自建成以来只在 1960 年蓄水一次,现被耕植^[5]。

2 样品采集与水质评价方法

2.1 样品采集与测定

根据东平湖入流河、出流河及南水北调水资源入口等情况,在东平湖湖面布设 6 个采样点(图 1),于 2012 年 6 月(枯水期)、9 月(丰水期)和 2015 年 6 月(枯水期)、9 月(丰水期)、12 月(平水期)分别采集湖水水样,每次采集 6 个样品,每份水样 2 000 mL。水样的采集、保存和送检分别按照《中华人民共和国农业行业标准》(NY/T 1121.1-2006)和《水质采样、样品的保存和管理技术规定》(HJ493-2009)执行。采集的水样送到山东省鲁南地质工程勘察院测试,测试的相对标准偏差小于 2%。主要分析指标为:总氮、总磷、COD_{Mn}、透明度、氨氮、氟化物、挥发酚、Cd、As、Cr⁶⁺、Hg、Pb 等。

2.2 水质评价方法

目前比较流行的地表水水质评价方法有:单因子评价法、综合污染指数法、不确定性评价法等。单因子评价法是根据现行国家水质标准确定的方法,计算简便,可以根据结果清晰判断出主要污染因子,

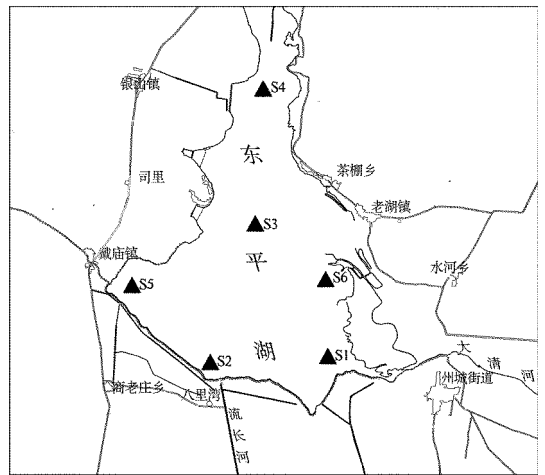


图 1 东平湖采样点位置图

(▲为采样点位置)

但是不能反映水体整体污染状况。综合污染指数法是在单因子污染指数基础上,经过数学运算得到的一个综合污染指数,可以精确地反映水体污染性质和程度,也便于比较同一水体不同时空内的变化情况,但不能满足不同类别水体间的比较。不确定性评价法,诸如模糊综合评价法和灰色评价法等,可以克服水环境系统的不确定性、水体污染程度界限的模糊性和水质评价中的不准确性,在水质评价中也得到广泛应用^[6]。

基于以上各水质评价方法的优缺点,通过以上分析,结合该次实际情况,确定采用综合污染指数法进行评价,计算公式如下:

$$P_i = C_i / S_i$$

$$P = \sum_{i=1}^n P_i$$

式中: P_i 为第 i 种因子的污染指数; C_i 为第 i 种因子的实测浓度(mg/L); S_i 为第 i 种因子的评价标准(mg/L);地表水一般采用地表水环境质量标准(GB3838-2002)的Ⅲ类水质的浓度; P 为综合污染指数; n 为选择的评价指标的个数,该文选用的评价指标为总氮、总磷、COD_{Mn}、氨氮、氟化物、挥发酚、Cd、As、Cr⁶⁺、Hg、Pb。

分级评价的分级标准如表 1 所示^[7]。

表 1 地表水质量分级标准

P 值	级别	P 值	级别
$P \leq 0.2$	I, 清洁	$0.7 < P \leq 1.0$	IV, 中污染
$0.2 < P \leq 0.4$	II, 较清洁	$1.0 < P \leq 2.0$	V, 重污染
$0.4 < P \leq 0.7$	III, 较污染	$P > 2$	劣 V, 严重污染

湖水营养化采用《湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定》中规定的综合营养状态指数法进行评价^[8],选用的指标为 TN、TP、COD_{Mn}、SD,具体的计算公式见相应的参考文献^[9];健康风险采用国际上通用的美国科学院提出的健康风险评价模型进行评价,选用的评价指标为 Cd、As、Cr⁶⁺、NH₄⁺、F⁻、Hg、Pb、挥发酚,具体的计算方法及分级标准参考相应的文献^[10-14]。

3 东线工程通水前后东平湖水环境质量变化

通过对通水前后湖水中污染物浓度的分析对比,从湖水水质、营养化状况和健康风险 3 个方面,评价东线工程输水对湖水质量的影响。

3.1 湖水水质概况

表 2 为通水前东平湖枯、丰水期各采样点所测指标的浓度。

用地表水环境质量标准、生活饮用水卫生标准(GB5749-2006)和农田灌溉水质标准(GB5084-2005)规定的相关指标来衡量可知:除枯水期 S1,S4

点的 Cr⁶⁺ 浓度满足 II 类标准、丰水期 4 个采样点的氨氮浓度和 S2 点挥发酚浓度满足 III 类标准外,其他采样点所测的指标浓度均满足地表水环境质量标准 I 类或满足集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值;除丰水期 S2 点的挥发酚浓度外,其余各点浓度均满足生活饮用水卫生标准限值;所测指标皆满足农田灌溉水质标准。

表 2 通水前湖水中污染物浓度(mg/L)

指标	枯水期				丰水期			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
COD _{Mn}	2.13	2.13	1.32	2.36	3.40	3.40	4.72	5.45
氨氮	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.52	0.88	0.60
氟化物	0.56	0.56	0.86	0.52	0.48	0.46	0.56	0.57
挥发酚	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002
Cd	0.0001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
As	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cr ⁶⁺	0.015	0.01	0.01	0.016	0.01	0.01	0.01	0.01
Hg	0.0001	0.0001	0.00017	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Pb	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

表 3 为通水后东平湖枯、丰、平水期湖水各采样点所测指标的浓度。

表 3 通水后湖水中污染物浓度(mg/L)

时间	采样点	指标								
		COD	氨氮	氟化物	挥发酚	Cd	As	Cr ⁶⁺	Hg	Pb
枯水期	S1	3.19	0.04	0.60	0.002	1.20E-05	0.001	0.004	1.00E-04	4.10E-05
	S2	4.46	0.04	0.70	0.002	7.00E-06	0.002	0.004	5.30E-04	2.40E-05
	S3	3.87	0.04	0.70	0.002	1.00E-05	0.001	0.004	6.50E-04	1.10E-02
	S4	4.38	0.04	0.65	0.002	9.00E-06	0.006	0.004	7.00E-04	2.20E-03
	S5	8.63	0.04	0.75	0.002	1.10E-05	0.004	0.004	5.00E-04	2.70E-03
	S6	7.82	0.04	0.60	0.002	1.80E-05	0.001	0.004	7.00E-04	4.20E-03
丰水期	S1	4.42	0.04	1.20	0.002	5.40E-05	0.005	0.004	1.00E-04	5.70E-04
	S2	4.39	0.2	1.30	0.002	1.40E-05	0.006	0.004	1.00E-04	4.70E-04
	S3	4.70	0.04	1.20	0.002	1.30E-05	0.003	0.004	1.00E-04	1.40E-04
	S4	5.49	0.04	1.10	0.002	8.00E-06	0.007	0.004	1.00E-04	2.00E-05
	S5	6.73	0.22	1.40	0.002	1.00E-05	0.007	0.004	1.00E-04	3.00E-04
	S6	5.83	0.04	1.00	0.002	1.70E-05	0.005	0.004	1.00E-04	1.50E-03
平水期	S1	4.08	0.05	1.20	0.002	1.80E-06	0.001	0.004	4.00E-04	9.00E-05
	S2	3.84	0.05	1.00	0.002	6.00E-07	0.001	0.004	6.00E-04	4.40E-05
	S3	5.48	0.12	0.90	0.002	4.00E-06	0.001	0.004	6.00E-04	2.50E-04
	S4	6.18	0.08	0.85	0.002	1.70E-06	0.001	0.004	3.00E-04	6.50E-05
	S5	4.08	0.05	0.90	0.002	3.20E-06	0.001	0.004	1.00E-04	6.10E-05
	S6	5.56	0.07	0.65	0.002	5.50E-06	0.001	0.004	4.00E-04	2.00E-04
	S1	3.19	0.04	0.60	0.002	1.20E-05	0.001	0.004	1.00E-04	4.10E-05

注:E 表示以 10 为底的指数

用地表水环境质量标准来衡量可知,所测指标 COD_{Mn}、氨氮、挥发酚、Cd、As、Cr⁶⁺、Pb 的浓度大多数满足地表水环境标准 I~II 类,除丰水期 S2,S4 采样点的氨氮浓度略有偏高外;Hg 浓度满足 III~

IV 类,可能与库区燃煤和垃圾焚烧或底泥中 Hg 的二次释放有关;氟化物浓度满足 I~IV 类,丰水期氟化物浓度较高,这可能是因为氟的主要来源是岩石中的含氟矿物^[15],丰水期由于降水的淋溶作用进入

水体的原因。用生活饮用水卫生标准来衡量可知,除 COD_{Mn} 外,其他指标均满足生活饮用水卫生标准限值,所有指标也均满足农田灌溉水质标准。通水前后湖水中氨氮浓度均相对较高,通水前湖水中挥发酚浓度较高,而通水后湖水中 Hg 浓度有增高,可能是因为库区燃煤或垃圾焚烧造成的,需要进一步调查。

3.2 湖水水质评价

东线工程通水前后东平湖湖水水质评价结果如表 4 所示。

表 4 东平湖水质评价对比

采样时间	采样点	通水前		通水后	
		P	水质级别	P	水质级别
枯水期	S1	0.58	Ⅲ	0.41	Ⅲ
	S2	0.37	Ⅱ	0.89	Ⅳ
	S3	0.65	Ⅲ	0.90	Ⅳ
	S4	0.49	Ⅲ	1.03	Ⅴ
	S5	0.47	Ⅲ	0.91	Ⅳ
	S6	0.53	Ⅲ	1.01	Ⅴ
丰水期	S1	0.62	Ⅲ	0.34	Ⅱ
	S2	0.42	Ⅲ	0.40	Ⅲ
	S3	0.40	Ⅱ	0.37	Ⅱ
	S4	0.49	Ⅲ	0.41	Ⅲ
	S5	0.46	Ⅲ	0.43	Ⅲ
	S6	0.48	Ⅲ	0.41	Ⅲ
平水期	S1	—	—	0.52	Ⅲ
	S2	—	—	0.58	Ⅲ
	S3	—	—	0.70	Ⅳ
	S4	—	—	0.42	Ⅲ
	S5	—	—	0.32	Ⅱ
	S6	—	—	0.58	Ⅲ

通水前:湖水水质级别为Ⅱ~Ⅲ类,枯、丰水期全湖 P 均值为 0.51 和 0.47,枯水期水质稍劣,可能是因为丰水期降水对湖水中的污染物有一定的稀释作用,整个水文年全湖 P 均值为 0.49,为Ⅲ类水质。

通水后:湖水水质级别为Ⅱ~Ⅴ类,枯、丰、平水期全湖 P 均值分别为 0.85,0.39,0.52,枯水期污染最严重,平水期次之,丰水期水质最好,足见丰水期降雨对湖水中污染物的稀释作用,整个水文年全湖 P 均值为 0.58,为Ⅲ类水质。

总体看来,通水前后东平湖湖水水质级别均为Ⅲ类,水体中部分水质指标超标,水体受到轻微污染,表明东平湖周围存在一定的污染源,但不严重,通水并没有从本质上改变东平湖的水质状况。

3.3 富营养化

东线工程通水前后东平湖富营养化状态如表 5

所示。

通水前:枯、丰水期全湖平均综合营养状态指数(TLI)分别为 41.01,55.42,整个水文年,全湖 TLI 均值为 50.72,为轻度富营养。

通水后:枯、丰、平水期 TLI 均值分别为 53.83,48.41,41.47,枯水期营养化现象明显,全湖平均 TLI 为 47.90,为中营养。

总体来看,通水后东平湖营养状态有所改善,由通水前的轻度富营养好转为通水后的中营养状态,可能是因为近年来东平湖区大力发展旅游业和养殖业,农业面源污染含肥废水排放减少的缘故,另外文献调研,发现通水后东平湖的营养水平比前人所做研究也有所好转^[16]。

表 5 东平湖营养化评价对比

采样时间	采样点	通水前		通水后	
		TLI	营养级别	TLI	营养级别
枯水期	S1	47.37	中营养	49.81	中营养
	S2	47.80	中营养	53.26	轻度富营养
	S3	46.70	中营养	48.71	中营养
	S4	42.19	中营养	57.78	轻度富营养
	S5	40.03	中营养	54.90	轻度富营养
	S6	41.99	中营养	58.50	轻度富营养
丰水期	S1	54.87	轻度富营养	43.17	中营养
	S2	59.04	轻度富营养	45.60	中营养
	S3	59.68	轻度富营养	47.74	中营养
	S4	48.10	中营养	51.06	轻度富营养
	S5	56.37	轻度富营养	48.48	中营养
	S6	54.47	轻度富营养	54.42	轻度富营养
平水期	S1	—	—	38.94	中营养
	S2	—	—	37.65	中营养
	S3	—	—	44.68	中营养
	S4	—	—	44.69	中营养
	S5	—	—	39.52	中营养
	S6	—	—	43.34	中营养

3.4 健康风险

鉴于东平湖是饮用水源地,因此该研究主要考虑湖水通过饮水途径产生的健康风险。通水前后东平湖湖水健康风险如表 6 所示。

通水前:枯、丰水期东平湖湖水的总平均健康风险分别为 $3.29 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$ 和 $2.53 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$,主要是致癌物质 Cr^{6+} 的健康风险较高,因而导致整个水文年东平湖的健康风险相对较高,为 $2.91 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$,属于Ⅳ级中—高风险,超过美国国家环保局推荐的 $1.0 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$ 的风险表征值^[17]。

通水后:枯、丰、平水期东平湖湖水的总平均健康风险分别为 $9.02 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$, $1.10 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$, $8.02 \times$

$10^{-5} a^{-1}$, 可知丰水期健康风险最高, 这是因为占总健康风险比重较高的 As 在丰水期的浓度较高的缘故, 通过文献调研可知, As 可以通过暴雨携带的泥沙和人类生产活动(工业废水、生活污水和农田灌溉退水)等进入东平湖水体^[18], 在丰水期暴雨径流丰富且人类生产活动相对旺盛, 因而丰水期水体中 As 浓度较高, 整个水文年全湖平均健康风险为 $9.35 \times 10^{-5} a^{-1}$, 属于Ⅲ级中风险。

表 6 东平湖健康风险评价对比

采样时间	采样点	通水前		通水后	
		健康风险	风险级别	健康风险	风险级别
枯水期	S1	3.43E-04	Ⅳ	8.02E-05	Ⅲ
	S2	2.53E-04	Ⅳ	8.63E-05	Ⅲ
	S3	2.53E-04	Ⅳ	8.02E-05	Ⅲ
	S4	3.61E-04	Ⅳ	1.14E-04	Ⅳ
	S5	3.83E-04	Ⅳ	1.00E-04	Ⅳ
	S6	3.83E-04	Ⅳ	8.02E-05	Ⅲ
丰水期	S1	2.53E-04	Ⅳ	1.07E-04	Ⅳ
	S2	2.53E-04	Ⅳ	1.14E-04	Ⅳ
	S3	2.53E-04	Ⅳ	9.37E-05	Ⅲ
	S4	2.53E-04	Ⅳ	1.21E-04	Ⅳ
	S5	2.53E-04	Ⅳ	1.21E-04	Ⅳ
	S6	2.53E-04	Ⅳ	1.07E-04	Ⅳ
平水期	S1	—	—	8.02E-05	Ⅲ
	S2	—	—	8.02E-05	Ⅲ
	S3	—	—	8.02E-05	Ⅲ
	S4	—	—	8.02E-05	Ⅲ
	S5	—	—	8.02E-05	Ⅲ
	S6	—	—	8.02E-05	Ⅲ

注: E 表示以 10 为底的指数

总体来看, 东平湖湖水的健康风险由通水前的Ⅳ级中—高风险好转为通水后的Ⅲ级中风险, 但与其他湖泊健康风险相比, 东平湖湖水的健康风险仍相对偏高, 如洞庭湖的总健康风险为 $2.27 \times 10^{-5} \sim 1.00 \times 10^{-4} a^{-1}$ ^[19], 太湖主要饮用水源地的健康风险为 $3.93 \times 10^{-5} \sim 4.54 \times 10^{-5} a^{-1}$ ^[20], 广西省某湖库型饮用水源地原水的健康风险为 $1.37 \times 10^{-7} \sim 3.68 \times 10^{-5} a^{-1}$ 的水平^[21]。

4 结论

通过对南水北调东线工程通水前后不同水文时期东平湖的水质、富营养化状况和健康风险进行综合分析评价, 得到结论如下:

(1) 南水北调东线工程的通水有利于东平湖湖水环境的改善, 表现在通水后湖水营养化状况和健康风险都有所改善, 这主要是因为南水北调东线工

程水源即调取的扬州附近的长江水水质较好^[22-24], 进入东平湖后对湖水稀释的结果。

(2) 通水后虽然湖水的健康风险有所改善, 为 $9.35 \times 10^{-5} a^{-1}$, 但与其他湖泊相比, 东平湖的健康风险仍较高, 后续应加强湖区环境保护和污染管控。

参考文献:

- [1] 王丹, 陈永金, 燕东芝. 近 23a 气候变化对东平湖水位及 TN、TP 的影响[J]. 人民黄河, 2016, 38(8): 60-64.
- [2] 王仕昌, 韩玉珍, 孙建峰, 等. 山东省东平湖地区生态地质环境脆弱性评价[J]. 山东国土资源, 2015, 31(6): 44-51.
- [3] 张菊, 邓焕广, 陈诗越, 等. 东平湖水源地水环境健康风险初步评价[J]. 安全与环境学报, 2011, 11(6): 111-115.
- [4] 胡尊芳, 宋印胜, 臧凯, 等. 东平湖水环境健康风险初步评价[J]. 山东国土资源, 2016, 32(2): 65-69.
- [5] 刘新民, 胡道峰, 杨长群, 等. 东平湖水环境评价与保护对策[J]. 水利规划与设计, 2013, (11): 18-20.
- [6] 申杰, 潘杨, 黄勇. 城市地表水环境评价方法综述[J]. 环保科技, 2011, 17(4): 41-45.
- [7] 张月珍, 董平国. 2013 年武威市集中式饮用水源地水质综合评价[J]. 水资源保护, 2016, 32(1): 91-96.
- [8] 刘红彩. 东平湖水环境状况与影响因素研究[D]. 济南: 山东大学, 2012.
- [9] 胡尊芳, 宋印胜, 孙建峰, 等. 东平湖枯水期水质健康风险评估[J]. 水电能源科学, 2016, 34(9): 31-34.
- [10] 赵锋霞. 基于不确定性参数的水环境健康风险评估方法及应用[D]. 辽宁师范大学, 2013.
- [11] 杨月, 曾悦, 吴俊伟, 等. 城市饮用水源地水中重金属健康风险评估实例研究[A]//中国环境科学学会 2014 中国环境科学学会学术年会(第四章)[C]. 成都: 中国环境科学学会, 2014.
- [12] 王新科, 李欢, 刘轩, 等. 西安市黑河水水质健康风险评估[J]. 地下水, 2014, (2): 60-63.
- [13] 鲁涌, 张光贵. 长江岳阳段水环境健康风险评估[J]. 环保科技, 2014, 20(1): 22-25.
- [14] 李祥平, 齐剑英, 陈永亨. 广州市主要饮用水源地中重金属健康风险的初步评价[J]. 环境科学学报, 2011, 31(3): 547-553.
- [15] 黄睿智. 湖库型饮用水水源地水环境健康风险评估[A]//中国环境科学学会学术年会[C]. 成都: 中国环境科学学会, 2014.
- [16] 王海文, 刘海珍. 东平湖营养状况及生态环境对水质影响分析[J]. 科技经济市场, 2014, (2): 102-103.
- [17] 王恒, 方自立, 李云祯, 等. 峨眉河饮用水源地环境健康风险评估[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(6): 163-166.
- [18] 盛东, 杨旭昌, 徐枫. 太湖主要饮用水水源地水环境健康风险评估[A]//首届中国湖泊论坛[C]. 南京: 东南大学出版社, 2011.
- [19] 何锦, 张福存, 韩双宝, 等. 中国北方高氟地下水分布特征和成因分析[J]. 中国地质, 2010, 37(3): 621-626.

- [20] 张光贵,黄博.湖南洞庭湖水系重金属健康风险评价[J].水资源保护,2014,30(1):7-14+47.
- [21] 高传德,王志敏.黄河水中砷的来源及其与泥沙关系的初步分析[J].水资源保护,1986,(1):14-17.
- [22] 高华太,郑富辉.长江水质评价研究[J].河北企业,2012,(3):29-30.
- [23] 李恩,薄立磊.未确知测度综合评价模型在长江水质评价中的应用[J].华北水利水电学院学报,2011,32(6):145-147.
- [24] 郭庆春,何振芳,李力.基于人工神经网络的长江水质评价模型[J].信息技术,2013,(8):54-56+60.

Effect of East Route of South to North Water Transfer Project on Dongping Lake Water Environment

HU Zunfang

(Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: To investigate the influence of east route of South to North Water Transfer Project on Dongping Lake water environment and to ensure the safe usage of water receiving area, samples were collected before and after water delivery of in different hydrological seasons and determined, then comprehensive pollution index method, comprehensive nutrition state index method and health risk assessment model were utilized to evaluate the quality, nutrition, and health risk of Dongping Lake surface water. Results showed that the quality of Dongping Lake surface water still satisfied level III (light pollution) no matter before or after water delivery with comprehensive pollution index verified from 0.49 to 0.58 meaning some indicators exceeded but not serious, the nutrition level was improved from mild eutrophication before water delivery to medium nutrition after water delivery with comprehensive nutrition state index reduced from 50.72 to 47.90 and the health risk level was reduced from high - medium before water delivery to medium level after water delivery with health risk fell from $2.91 \times 10^{-4} a^{-1}$ to 9.35×10^{-5} . In summary, water delivery of east route of South to North Water Transfer Project is benefit for water environment improvement of Dongping Lake. However, compared with other typical freshwater lakes, the health risk of Dongping Lake is still relatively higher, so environment protection and pollution control should be strengthened in further.

Key words: South to North Water Transfer Project; Dongping Lake; water quality; nutrition; health risk; Shandong province